

[報 文]

## 상수의 염소처리시 생성되는 소독부산물 중 Haloacetic acid류의 생성능에 관한 연구 — 일부 상수원수를 대상으로 —

정 용 · 신동천 · 임영욱 · 김준성 · 박연신

연세대학교 환경공해연구소

## A Study on Haloacetic Acids Formation Potentials by Chlorination in Drinking Water

Yong Chung, Dong-Chun Shin, Young-Wook Lim  
Jun-Sung Kim and Yuon-Sin Park

*The Institute for Environmental Research, Yonsei University (IERY)*

### Abstract

The main reason of applying chlorination is to sterilize microbes existing in the drinking water treatment. But chlorination could lead to the formation of disinfection by-products (DBPs) by the reaction of free chlorine with humic substance in the water. Especially the DBPs including trihalomethanes (THMs), haloacetic acids (HAAs), haloacetonitriles (HANs), and haloketones (HKs) exist in the tap water. The US environmental protection agency (US EPA) defines that trihalomethanes, dichloroacetic acid, trichloroacetic acid, and dichloroacetonitrile among DBPs are probable/possible human carcinogens. US EPA suggests maximum contaminant levels (MCLs) for THMs (80 µg/L) and HAAs (60 µg/L) in drinking water.

In Korea, THMs in drinking water has been surveyed but DBPs in general has not been studied in drinking water practically. Therefore only THMs have been regulating as criteria compounds since 1990 but neither HAAs nor HANs. Researches on HAAs are yet to be found. HAA formation potentials (HAAFPs) have not been practiced. HAAs depends on the characteristics of water sources by chlorination. In this study, HAAFPs from three distinct sources were investigated by laboratory chlorination experiments. This study was performed to measure the level of HAAs in drinking water in Seoul area.

At April 1996, after collecting the raw waters from the three sites with the different properties, the water samples were chlorinated at various conditions (pH 5.5, pH 7.0 and without pH adjustment) in the state of raw water to have 0.5 mg/L of residual chlorine concentration. And the raw water, treated water, and tap water of water treatment were collected to measure the HAAs concentration. The quantitative analysis of HAAs was conducted by US EPA methods.

After 48 hours of chlorination, The HAAFPs ranges of measured level of pH 5.5, pH

7.0, and without pH adjustment were 11.0 ~ 48.7 ppb, 9.4 ~ 60.7 ppb, and 4.5 ~ 50.0 ppb., respectively. HAAFPs was increased with the reaction time. In tap water of households in Seoul, HAAs was measured with the mean value of  $11.71 \pm 1.11$  ppb. Among the HAAFPs, dichloroacetic acid and trichloroacetic acid as the hazardous compounds are measured at higher value.

Based on above results, the health risk assessment of DBPs should be undertaken in urgently for the management process for the standard.

## 서 론

도시인구의 증가와 각종 산업의 발전으로 인하여 대도시 및 공업단지에서 배출되는 막대한 양의 하·폐수는 완전 처리되지 않은 상태로 방류되어 상수원의 수질오염을 가중시키고 있다. 따라서 마시는 물의 안전성과 관련하여 정수처리의 중요성이 크게 인식되고 있다.<sup>1)</sup> 정수처리는 안전한 음용수를 공급하기 위해 상수원에 존재하는 오염물질들을 처리하고 있다. 이러한 처리과정중 미생물의 산균을 위하여 염소소독을 실시하고 있는데, 이때 주로 사용되는 염소소독제는 뛰어난 살균력 이외에도 강력한 산화작용으로 무기물 및 유기물을 산화시키고 냄새 및 색의 원인을 제거시키기도 하므로 폐하수처리에도 응용되어 왔다.<sup>2)</sup> 그러나 다양한 오염원으로부터 유입된 원수를 음용수로써 적합하도록 정수하는 과정에서 염소를 투입하였을 경우 수중 휴믹물질(humic substances)과 반응하여, 약 780가지 이상의 다양한 종류의 염소 소독부산물(disinfection by-products: DBPs)이 생성되는데, 대부분이 할로겐화합물로 알려져 있다.<sup>3)</sup>

염소 소독부산물로는 발암력을 지니고 있는 trihalomethanes (THMs) 이외에도 haloacetic acids (HAAs), haloacetonitriles (HANs), haloketones (HKs) 및 halopicrins 등이 보고되고 있다.<sup>4), 5)</sup> 이들 소독부산물중에는 클로로포름 이외에도 발암성이 증명된 물질들이 다수 존재한다고 알려져 있다.<sup>6)</sup> 염소소독한 음용수가 원수에 비하여 돌연변이원성이 높은 결과를 보였으며, 역학조사에서는 소독부산물로 인하여 방광암 및 직장암에 걸릴 위험이 증가된다고 보고하고 있다.<sup>7)</sup> 이에 미국 환경보호청(US Environmental Protection Agency: US EPA)은 1986년에 개정, 공포된 SDWA (Safe Drinking Water Acts)에 의거하여, 1987년 이후부터 규제

할 오염물질의 목록을 매 3년 마다 25항목씩 검토하고 있으며, 소독제와 소독부산물에 대한 검토도 활발히 진행되어 왔다. 이러한 연구결과, US EPA는 약 250가지 물질에 대한 음용수 수질기준 목표치인 MCLGs (maximum contaminant level goals) 또는 음용수 수질기준에 해당하는 MCLs (maximum contaminant levels)를 제시하고 있다.<sup>8)</sup> 특히 소독부산물중 THMs에 대한 MCLs는 100  $\mu\text{g/L}$ , HAAs에 대한 것은 60  $\mu\text{g/L}$ 로 규정하고 있고, 더욱 강화해 갈 계획을 추진중에 있다.<sup>9)</sup> 이러한 소독부산물 중 유독성을 가지고 있는 HAAs는 비휘발성 유기오염물질로서 그 존재는 높은 잠재적 위해성을 가지고 있는 것으로 밝혀졌다. US EPA에서는 HAAs 중 dichloroacetic acid는 유력한 인체 발암물질(probable human carcinogen: B2)이고, trichloroacetic acid는 가능한 발암물질(possible human carcinogen: C)로 정의하고 있다.<sup>10)</sup>

우리 나라의 경우, 정 용 등에 의해 수도수중의 THMs에 대한 최초의 조사를 시작으로 하여 대도시를 중심으로 THMs의 지속적인 조사가 수행되어 왔다.<sup>11)</sup> 따라서 THMs는 1990년에 규제물질로 정의되었으나, HAAs는 규제 뿐만 아니라 발생조차도 파악되고 있지 않아 국내에서의 연구가 극히 미진한 상태이다. 염소 소독부산물은 염소소독시 원수의 특성에 따라 생성능의 차이가 발생하게 된다.<sup>12)</sup> 우리나라의 경우, 발생과 관련된 여러 주요 상수원의 원수특성이 다양하여 염소소독시 반응하는 전구물질의 양이나 특성도 다르다.

본 연구에서는 우리나라 주요수계의 원수들을 대상으로, 실험실내에서 염소처리시 발생과 관련된 인자들의 변화에 따라 생성되는 HAAs를 측정하여 HAAs생성능(formation potentials)을 연구하였다. 또한 서울시 일부 정수장에서 발생하는 HAAs의 오염도를 조사하여 HAAs의 발생수준을 평가하여 향후 염소처리시 소독부산물에 대한 생성저감방

안 및 수질기준 마련을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

### 재료 및 방법

#### 1. HAAs 생성능 (formation potentials) 연구

원수특성에 따라 생성되는 HAAs 생성능을 측정하기 위해 상수원이 다른 지점인 R1, R2, 그리고 R3에서 1996년 4월에 원수를 채수 하였으며, 채수 후 4°C에서 냉장 보관하였다. 냉장 보관한 시료는 실험전에 20°C로 온도를 조정 한 후 실험원수로 사용하였고, 모든 실험은 20°C 항온실내에서 실험하였다.

원수특성이 다른 원수 R1, R2 및 R3의 시료를 Whatman 2번 종이여과지로 진공여과하여 부유물질을 제거한 후 세부분으로 나누어 원수와 pH 5.5, pH 7.0으로 HCl과 NaOH를 이용하여 pH 조정하여 사용하였다. 각 시료에 염소처리를 하기위해 Ca(OCl<sub>2</sub>)를 이용하여 R1, R2 및 R3에 잔류염소량을 충족시키는 농도가 되도록 예비실험을 통해 얻어진 염소농도 5 mg/L를 투여한 후 6시간, 24시간, 48시간 방치하여 각각의 HAAs 생성량을 분석하였다.

#### 2. 수도수의 HAAs 농도 조사

수도수에서 발생되는 HAAs의 발생량을 측정하기 위해서, 1996년 봄에 서울시 주요 급수 정수장인 6지점 (S1, S2, S3, S4, S5, 그리고 S6)의 원수, 정수 및 정수장에서 5 km이내의 가정수를 대상으로 시료를 채수하였다. 시료채수시 250 ml 갈색병에 공기가 들어가지 않도록 채취하였으며 전처리 는 1% NH<sub>4</sub>Cl 용액 2.5 ml를 사용하고 4°C 이하에서 냉장 보관하였다.

#### 3. 분석방법

##### 1) 원수의 수질분석

원수의 상태를 파악하기 위해서 수질오염의 지표적인 항목을 분석하였다 (Table 1). pH는 pH meter전극법으로 측정하였고, NH<sub>3</sub>-N은 인도페놀법으로 분석하였으며 COD는 KMnO<sub>4</sub> 소비량법으로 측정하였다. 알칼리도는 메틸오렌지 적정법을 이용하여 분석하였다. 탁도는 NTU탁도를 조사하였고 (HACH Co.), 원수와 염소처리후에 측정된 UV-

**Table 1.** Raw water quality parameters

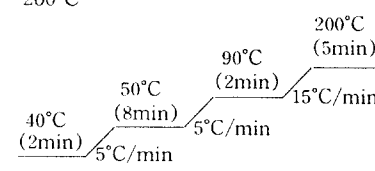
Parameters	Utility R1	Utility R2	Utility R3
pH	7.9	7.7	8.0
NH <sub>3</sub> -N(mg/L)	0.58	0.71	0.36
COD(mg/L)	4.06	5.28	4.06
UV-254(ABS/cm)	0.073	0.080	0.072
Turbidity(NTU)	2.9	2.2	1.7
Alkalinity(mg/L)	55	41	32

254는 Shimadzu UV-1601 UV-Visible Spectrophotometer를 이용하여 254 nm 파장에서 시료를 측정하였다.<sup>13)</sup>

##### 2) HAAs의 정량

시료내에 미량으로 존재하는 HAAs 중 monochloroacetic acid (MCAA), dichloroacetic acid (DCAA), trichloroacetic acid (TCAA), monobromoacetic acid (MBAA), dibromoacetic acid (DBAA), 그리고 bromochloroacetic acid (BCAA) 등 검출 6개항목을 대상으로 정량하였으며, 방법으로는 US EPA Method 552.1 method 측정방법을 선택적으로 응용하여 실험하였다.<sup>13)</sup> 시료의 추출 및 정제시에는 Supelco사의 solid phase extraction 장치를 이용하여 추출하였다. 추출한 추출액은 4°C에서 갈색 vial에 보관하여 48 hr안에 분석하였다.

**Table 2.** Gas chromatography condition of HAAs analysis

Item	Condition
Column	J&W Scientific DB1701 (14% cyanopropylphenyl methylpoly-siloxane, 30m x 0.32 mm x 0.25 μm)
Detector	ECD
Integrator	HP3396 Series II integrator
Splitless mode	
Injector temp	200°C
Detector temp	260°C
Oven temp	
Total flow rate	50 ml/min
Injection volume	2 μl

HAAs 분석에 HP 5890 Series II Gas Chromatography/5972 Mass Selective Detector와 HP 5890 Series II Gas Chromatography/Electron Capture Detector를 이용하였다. 각 물질의 정성적 확인을 위해 HP MS Chemstation 프로그램과 Wiley 138K Mass Spectral Database 프로그램을 사용하여 물질확인한 다음, 정량분석에는 GC/ECD를 이용하여 분석하였다. HAAs의 측정에 사용된 GC/ECD의 분석조건은 Table 2와 같다. 실험에 사용된 HAAs 표준물질은 Supelco사의 제품을 구입하여 사용하였고, 분석시약은 HPLC grade급 시약을 사용하였다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 상수원수의 염소처리시 HAAs생성능 (formation potentials) 조사

Table 1은 상수원이 다른 지점에서 채수된 대상 시료의 원수수질 특성을 나타내었다. 채수한 시료의 액성은 pH 7.7~8.0사이의 약알칼리성으로 나타났으며, COD는 R2는 5.3 mg/L, R1과 R3는 4.1 mg/L로 동일하게 측정되었다. 암모니아성 질소는 0.36~0.71 mg/L로 조사되었다. 소독부산물 전구 물질을 측정하는 대체항목(surrogate)으로써 UV-254를 측정하였는데 R1, R2 및 R3는 각각 0.073 ABS/cm, 0.072 ABS/cm 및 0.080 ABS/cm으로 나타났다.<sup>13)</sup> 탁도는 1.7~2.9 NTU로 측정되었다.

각 원수를 대상으로 하여 염소처리시 생성된 HAAs생성능은 Table 3에 나타내었다.

#### 1) pH 변화에 따른 HAAs생성능의 변화

원수의 특성과 pH 변화에 따라 HAAs생성능이

**Table 3.** Comparison of HAAs formation potentials the source of raw water and the level of modified pH with chlorination

Utility	pH	Reaction time(hr)	UV-254 (ABS/cm)	MCAA ( $\mu\text{g/L}$ )	MBAA ( $\mu\text{g/L}$ )	DCAA ( $\mu\text{g/L}$ )	TCAA ( $\mu\text{g/L}$ )	BCAA ( $\mu\text{g/L}$ )	DBAA ( $\mu\text{g/L}$ )	THAAs ( $\mu\text{g/L}$ )	
R1	5.5	6	0.088	0.7	0.2	7.7	1.0	1.0	0.3	11.0	
		24	0.070	0.7	0.2	11.2	21.0	1.5	0.4	35.0	
		48	0.067	1.0	0.3	13.6	23.3	1.6	0.4	40.2	
	7.0	6	0.075	0.2	0.1	3.7	4.5	0.7	0.3	9.4	
		24	0.069	0.7	0.2	11.1	17.1	1.6	0.4	31.2	
		48	0.062	0.9	0.2	12.1	16.3	1.6	0.4	31.5	
	raw water	6	0.073	0.2	0.1	3.5	1.7	0.5	0.6	6.5	
		7.9	24	0.068	0.3	0.1	5.8	3.1	0.9	0.5	10.7
		48	0.061	0.7	0.2	9.4	8.5	1.1	0.5	20.3	
R2	5.5	6	0.082	0.9	0.2	10.4	15.1	1.5	0.5	28.5	
		24	0.075	0.9	0.3	14.9	27.3	2.3	0.4	46.1	
		48	0.071	1.2	0.3	17.1	27.1	2.5	0.5	48.7	
	7.0	6	0.078	0.9	0.1	15.0	20.4	2.6	0.5	39.6	
		24	0.072	0.9	0.1	15.7	22.7	2.8	0.6	42.8	
		48	0.066	1.8	0.2	24.0	30.4	3.6	0.6	60.7	
	raw water	6	0.082	0.3	0.1	6.3	4.9	1.1	0.5	13.3	
		7.7	24	0.076	0.8	0.2	11.3	9.3	1.4	0.5	23.6
		48	0.070	1.1	0.4	12.5	8.9	2.3	0.6	25.8	
R3	5.5	6	0.078	0.7	0.3	8.4	9.9	1.7	0.4	21.4	
		24	0.068	1.4	0.4	14.9	9.3	2.8	0.7	29.4	
		48	0.064	1.4	0.5	17.9	24.2	3.8	0.7	48.4	
	7.0	6	0.073	1.0	0.5	14.0	15.2	3.2	0.8	34.6	
		24	0.066	1.0	0.4	14.8	22.2	3.4	0.7	42.4	
		48	0.062	1.9	0.7	21.5	21.4	3.9	0.8	50.1	
	raw water	6	0.072	0.1	0.1	2.5	0.8	0.7	0.3	4.5	
		8.0	24	0.065	0.6	0.4	8.1	7.7	1.5	0.6	18.8
		48	0.061	2.0	0.5	23.7	20.7	2.6	0.5	50.0	

다르게 나타났다. 원수와 pH 5.5, pH 7.0으로 조정하여 염소처리하였을 때 48시간 경과후, R1에서는 pH 5.5일 때 HAAs가 40.2 µg/L의 생성능을 보였으나, R2와 R3는 pH 7.0에서 각각 60.7 µg/L와 50.1 µg/L로 높은 생성능을 보였다. 원수의 특성과 전구물질의 양에 따라 원수별 생성능은 차이가 있었지만, pH가 증가할수록 HAAs생성량은 조금씩 감소하는 것으로 나타났다. Stevens 등은 TCAA의 농도가 pH 5와 pH 7에서는 거의 동일하게 생성되었으나 pH 9.4일 때는 크게 감소된 것으로 분석하였다.<sup>14)</sup>

따라서 소독부산물 생성시 가장 중요한 영향을 미치는 인자는 pH로 밝혀져 있다.<sup>15)</sup> THM의 경우 pH가 알칼리성일 때 발생량이 증가되며, HAAs는 약산성일 때 오히려 생성량이 증가하는 것으로 알려져 있다.

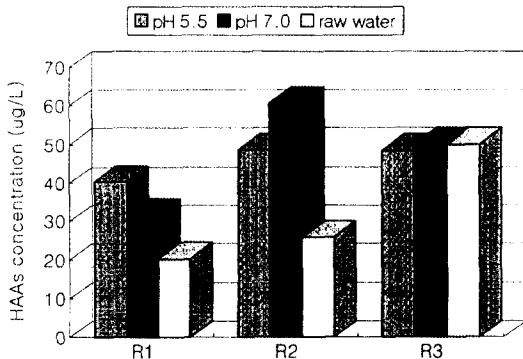


Fig. 1. Variation of HAAs formation potentials with pH (reaction time 48hr).

2) 반응시간에 따른 HAAs생성능의 변화

염소처리후 반응시간에 따라 생성되는 HAAs변화를 관찰하기 위해서, 대상원수를 pH 7.0으로 조정하여 이를 다시 염소처리하여 6시간, 24시간, 그리고 48시간 방치후 생성된 HAAs의 농도를 Fig. 2에 나타내었다. 염소처리후 반응시간이 증가할수록 HAAs생성능도 증가하였다. R1의 반응시간이 6시간일 때 9.4 µg/L에서 48시간에는 31.5 µg/L로 증가하였다. R2는 6시간일 때 39.6 µg/L에서 48시간일 때 60.7 µg/L로 R1보다 높은 생성능을 보였다. R3 역시 34.6 µg/L에서 50.1 µg/L로 증가하였다. Ozawa 등은 염소처리에 의해 생성되는 HAAs

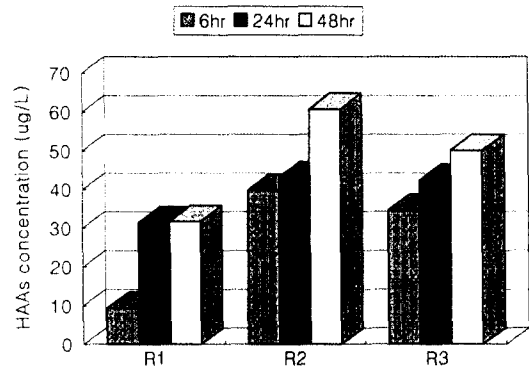


Fig. 2. Variation of HAAs formation potentials with reaction time (pH 7.0).

는 염소가 첨가되자마자 급격히 증가하였다가 약 6시간이후에는 생성비율의 증가가 둔화되는 결과를 보였다.<sup>16)</sup>

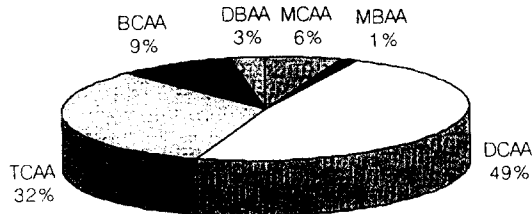
2. 수도수의 HAAs 농도 조사

서울시 6개 정수장에서 발생된 HAAs의 농도를 비교해 보면 Table 4와 같다. 정수장으로 유입되는 원수에서 HAAs가 평균  $2.63 \pm 2.74$  µg/L 검출되었는데 이는 서울시 광역상수도지역에서 원수를 채수시 전처리목적으로 전염소처리를 실시함으로 인해 HAAs가 미량 생성된 것으로 판단된다.

정수처리과정에서 염소처리공정후 HAAs는 평균  $9.81 \pm 2.95$  µg/L로 급격히 증가되었으며 가정수로 송수되는 과정중에서도 점차 증가되는 경향을 나타냈다. 정수장에 따라 농도의 차이가 있으며, 가정수의 경우 평균  $11.71 \pm 1.11$  µg/L로 나타나 US EPA에서 제시하고 있는 HAAs의 MCLs인 60 µg/L보다 낮은 수준으로 밝혀졌다. Singer 등에 의해 조사된 미국 North Carolina의 HAAs는 36 ~ 106 µg/L 정도로 검출되고 있고, Nieminski 등은 Utah주의 36개 지점을 대상으로 HAAs의 농도범위는 1 ~ 89 µg/L로 다양하게 나타났다.<sup>17), 18)</sup> 이들의 경향을 보면 계절별로 HAAs발생량은 여름에 가장 많이 생성되고 다음으로는 가을, 봄에 생성이 줄어들며 겨울이 가장 적은 순서로 발생된다.<sup>19)</sup> 본 연구에서는 극히 일부지역의 시료만을 대상으로 평가한 것이므로 우리나라의 현황을 파악하기 위해서는 대규모연구를 수행한 후 판단하여야 될 것이므로, 향후 소독부산물 중 HAAs에 대한 더욱 많은 연구가

**Table 4.** Average concentrations of HAAs from drinking water treatment systems in Seoul area (unit :  $\mu\text{g/L}$ )

Site	Raw water	Treated water	Tap water
S1	0.46	6.01	11.25
S2	0.26	11.59	12.23
S3	6.27	12.05	12.30
S4	0.22	6.04	10.00
S5	5.46	12.12	11.25
S6	3.10	11.02	13.21
Mean	$2.63 \pm 2.74$	$9.81 \pm 2.95$	$11.71 \pm 1.11$



**Fig. 3.** Composition of HAAs on tap water in drinking waters.

필요한 것으로 생각된다.

Fig. 3에서는 가정수를 대상으로 분석된 HAAs의 물질별 구성비를 나타내고 있다. 분석된 6가지 HAAs의 물질 구성비를 보면 DCAA와 TCAA가 각각 49%와 32%로 두 물질이 HAAs의 대부분으로 나타났다. US EPA에서는 HAAs 중 DCAA는 인체에 유력한 발암물질 (probable human carcinogen : B2), 그리고 TCAA는 인체에 가능한 발암물질 (possible human carcinogen : C)로 규정하고 있으며, 이러한 물질들은 비휘발성 유기오염물질의 성격을 가진 화합물이기 때문에 THMs과 같은 휘발성 유기오염물질보다 인체에 더욱 높은 잠재적 위해도를 가지고 있는 것으로 밝혀졌다.<sup>16)</sup>

원수에 포함되어 있는 브롬이온은 염소처리시 소독부산물의 형성에 중요한 요소로 작용하는데, 이는 유기염소계 소독부산물 196종 중 28종이 브롬화합물에 의해서 생성되어지고 있기 때문이다.<sup>19)</sup> 브롬이온의 농도가 높은 호소수를 대상으로 염소처리하였을 때 tribromoacetic acid, DBAA, BCAA가 높은 농도로 생성되었다.<sup>21)</sup> 본 연구에서 측정된 MBAA, BCAA 및 DBAA의 농도는 HAAs 중 13%의 구성비를 차지하였으며, 본 연구내용에는 포

함되지 않았지만 원수의 bromide이온의 농도에 따른 브롬소독부산물의 생성능에 관한 연구와 병행하여 진행되어야 할 것으로 사료된다.

## 결론

이 연구에서 상수를 염소소독시 발생하는 소독부산물인 HAAs의 생성능 실험과 서울시 수도수를 대상으로 HAAs의 농도를 정량하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수질특성이 다른 원수를 대상으로 염소처리시 생성되는 HAAs 생성능은 48시간일 때, R1에서는 pH 5.5일 때  $40.2 \mu\text{g/L}$ 로 높은 생성능이 측정되었고, R2와 R3에서는 pH 7.0에서 각각  $60.7 \mu\text{g/L}$ 와  $50.1 \mu\text{g/L}$ 로 높은 생성능을 보였다. 전체적으로 pH가 증가할수록 HAAs는 적게 생성되는 것으로 나타났다.
2. 염소처리후 반응시간에 따라 생성되는 HAAs 변화는 반응시간이 길수록 HAAs 생성능도 증가하는 것으로 나타났다. pH 7.0일 때 R1은 6시간과 48시간에서 각각  $9.4 \mu\text{g/L}$ ,  $31.5 \mu\text{g/L}$ 가 검출되었고, R2는 6시간일 때  $39.6 \mu\text{g/L}$ , 48시간일 때  $60.7 \mu\text{g/L}$ 로 R1보다 높은 생성능을 보였다. 또한 R3도 시간 경과에 따라서  $34.6 \mu\text{g/L}$ 에서  $50.1 \mu\text{g/L}$ 로 증가하였다.
3. 서울시 일부 정수장에서 발생된 HAAs는 원수에서  $2.63 \pm 2.74 \mu\text{g/L}$ 로 전염소처리로 인해 미량 생성되었으며 처리수에서는  $9.81 \pm 2.95 \mu\text{g/L}$ 로 급격히 증가하다가 가정수에서도  $11.71 \pm 1.11 \mu\text{g/L}$ 로 처리수보다 증가된 농도로 측정되었다.
4. 가정수에서 분석된 HAAs의 6가지 물질의 구성비를 보면 DCAA와 TCAA가 각각 49%와 32%로 대부분을 차지하고 있으며, 브롬화합물인 MBAA, BCAA 및 DBAA의 구성비는 각각 1%, 9% 및 3%로 나타났다.

이상의 결과에서 정수처리과정중 염소소독에 의하여 HAAs의 생성이 확인되었으며, 원수의 수질악화와 정수처리 과정의 문제점으로 HAAs의 생성가능성과 그로 인한 건강위해성이 우려되므로 깨끗하고 안전한 원수의 확보, 정수처리의 개선 그리고 HAAs에 대한 위해성평가과정을 통하여 합리적인

대상과 수준의 설정이 필요하며, 따라서 우리나라의 실정에 맞는 수질기준을 설정하여야 할 것이다.

### 감 사

본 논문은 한국과학재단의 핵심전문연구비(951-0707-045-2)지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

1. 권숙표, 상수중의 유독염소계 화합물의 생성과 독성에 관한 연구, 연세대학교 환경공해연구소 (1983)
2. 정 용, 권숙표, 박하영, 상수 염소 소독에 의한 클로로페놀 생성에 관한 연구, 약학회지 **24**(2), 87-95 (1980)
3. Stevens A. A., Formation and control of non-trihalomethane disinfection by-products. *J. AWWA* **80**(10), 54-60 (1989)
4. Grossman L.H., Manka J., Relis B.L., Relis L. & Rebhun M., Formation and distribution of haloacetic acids, THM and TOX in chlorination of bromide-rich lake water. *Wat Res.* **27**(8), 323-331 (1993)
5. Lieu N.I., Wolfe R.L. & Means E.G., Optimizing chloramine disinfection for the control of nitrification. *J. AWWA* **84**(2), 84-90 (1993)
6. Pomtius F.W., An update of the federal drinking water regs. *J. AWWA* **86**(2), 48-58 (1995)
7. McGeehin M.A., Rief J.S., Becher J.C. et al., Case-control study of bladder cancer water disinfection methods in colorado. *Amer Jour of Epidem.* **138**(7), 492-501 (1993)
8. US EPA, Federal register. US EPA (1994)
9. US EPA, Technologies for upgrading existing or designing new drinking water treatment facilities. US EPA (1990)
10. US EPA, Drinking Water Regulations and Health Advisories. US EPA (1995)
11. 권숙표, 정 용, 조희재, 상수중 Trihalomethane 생성에 관한 연구, 연세대학교 환경공해연구소 (1983)
12. Singer P.C., Control of disinfection by-products in drinking water. *J. of Environmental Engineering* **120**, 7-744 (1993)
13. Najm I.N., Patania N.L., Jacangelo J.G. et al., Evaluating surrogates for disinfection by-products. *J. AWWA* **85**(6), 98-106 (1994)
14. US EPA, Methods for the determination of organic compounds in drinking water. US EPA (1990)
15. Trussell R.R. & Umphres M.D., The formation of Trihalomethanes. *J. AWWA* **69**(11), 604-611 (1978)
16. Ozawa H., Gas chromatographic-mass spectrometric determination of halogenated acetic acids in water after direct derivatization. *Jour of Chromat* **644**, 375-382 (1993)
17. Singer P.C., Obolensky A. & Greiner A., DBPs in chlorinated North Carolina drinking waters. *J. AWWA* **86**(10), 83-92 (1995)
18. Nieminski E.C., Chaudhuri S. & Lamoreaux T., The occurrence of DBPs in Utah drinking waters. *J. AWWA* **84**(9), 98-105 (1993)
19. Krasner S.W., McGuire M.J., Jacangelo J.G. et al., The occurrence of disinfection by-products in US drinking water. *J. AWWA* **80**(8), 41-53 (1989)
20. Symons J.M., Dressman R.C., Stevens A.A. et al., The influence of bromide ion on organic chlorine and organic bromine formation during free chlorination. *Res & Tech* **11**, 114-118 (1987)
21. Symons J.M., Krasner S.W., Simms L.A., Scimienti M., Measurement of THM and precursor concentrations revisited: The effect of bromide ion. *J. AWWA* **84**(1), 51-62 (1993)